

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 16 047.7

Anmeldetag: 08. April 2003

Anmelder/Inhaber: Rohde & Schwarz GmbH & Co KG,
81671 München/DE

Bezeichnung: Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik

IPC: H 01 P, H 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Hintermeier

Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik

Die Erfindung betrifft einen Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik.

5

Richtkoppler werden sehr vielfältig in schaltungs-
technischen Anwendungen verwendet. Als richtungsabhängige,
entkoppelte Leistungsteiler kommen sie in Phasenschiebern,
Mischern und Verstärken zum Einsatz. Im Bereich der
10 Messtechnik kommen Richtkoppler zur getrennten Messung der
hin- und rücklaufenden Welle von und zu einem Messobjekt
(DUT), beispielsweise bei Netzwerkanalysatoren, zur
Anwendung.

15 Um einen Koppler mit guten Hochfrequenzeigenschaften bei
vergleichsweise kompakter Bauweise und günstigen Herstel-
lungskosten zu realisieren, werden Richtkoppler bevorzugt
in monolithisch integrierter Bauweise hergestellt. Neben
der konventionellen Mikrostreifenleitertechnik werden
20 Richtkoppler bei monolithisch integrierter Bauweise auch
in Koplanartechnik realisiert. Der Vorteil eines Richt-
kopplers in Koplanartechnik gegenüber einer Realisierung
in Mikrostreifenleitertechnik ist einerseits in der
Anbringung sämtlicher Leitungen (Innenleiter, Masseleiter)
25 auf einer Seite des Substrats zu sehen. Somit entfallen
bei zusätzlicher Beschaltung der Mikrowellenschaltung mit
Bauelementen (z.B. Kapazitäten, Induktivitäten) nötige
Bohrungen und Durchkontaktierungen im Substrat. Ein
weiterer ganz wesentlicher Vorteil eines Richtkopplers in
30 Koplanartechnik gegenüber einer Realisierung in Mikro-
streifenleitertechnik liegt darin, die Phasengeschwindig-
keit der Gleichtaktwelle $v^{(e)}$ annähernd identisch zur
Phasengeschwindigkeit der Gegentaktwelle $v^{(o)}$ gestalten zu
können und somit die Richtdämpfung (Direktivität) a_D zu
35 maximieren. Dies ist in Fig. 1 schematisch dargestellt,
wobei die dort angegebenen Werte nur beispielhaft zu
verstehen sind. Bei einer hohen Direktivität a_D ist die
Leistung einer im Kopplungspfad ausgekoppelten Welle in
Relation zur Leistung einer im Isolationspfad eines

Richtkopplers ausgekoppelten Welle deutlich höher. Hierzu ist in Fig. 2 die grundsätzliche Funktionsweise und Beschaltung des Richtkopplers schematisch dargestellt.

5 In der EP 0 511 728 B1 ist ein Richtkoppler in Koplanar-
technik vorgestellt. Während bei Richtkopplern in Kopla-
nartechnik, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser
Druckschrift realisiert wurden, der Kopplungsfaktor ver-
gleichsweise niedrig war, da fertigungstechnisch der
10 Abstand zwischen den an der Kopplung beteiligten
Innenleitern einer integrierten Mikrowellenschaltung nicht
beliebig klein ausgeführt werden konnte, weist der in der
EP 0 511 728 B1 vorgestellte Interdigitalkoppler (Lange-
Koppler) einen deutlich höheren Kopplungsfaktor auf. Dies
15 wird durch Parallelschaltung mehrerer Innenleiter auf dem
Substrat erreicht. Nachteilig an dieser koplanaren
Ausführung des Richtkopplers ist seine geringe Bandbreite.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen in
20 der Messtechnik und insbesondere in der Netzwerkanalyse
notwendigen ultrabreitbandigen Richtkoppler in koplanarer
Technik zu realisieren.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch einen Richtkoppler in
25 koplanarer Wellenleitertechnik entsprechend den Merkmalen
der nebengeordneten Ansprüche 1, 3 und 7 gelöst.
Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den
abhängigen Ansprüchen angegeben.

30 Um die Koppeldämpfung a_K ($a_K = -20 \cdot \log(k)$ mit $k = |b_2/a_1|$,
siehe hierzu Fig. 2) über einen größeren Frequenzbereich
nahezu konstant zu halten (Breitbandkoppler), werden
mehrere Koppelabschnitte unterschiedlicher Koppeldämpfung
hintereinander geschaltet. Hierzu wurden im ersten
35 Entwurfschritt des Richtkopplers z. B. insgesamt 40
Koppelsegmente gleicher Länge definiert, innerhalb derer
der Abstand zwischen den beiden Innenleitern sowie
zwischen jeweils einem Innenleiter und einem Masseleiter
konstant gehalten wird, während diese Abstände bei

verschiedenen Koppelsegmenten zur Realisierung eines unterschiedlichen Koppelkoeffizienten variieren. Im Hinblick auf eine kontinuierlichere Veränderung des Koppelkoeffizienten entlang der Längsrichtung der einzelnen Leiter wurde in einem zweiten Entwurfschritt der treppenförmige Verlauf der Innen- und Masseleiter bzw. der zugehörigen Spalte durch lineare Verläufe bzw. kubische Splinefunktions-Verläufe interpoliert.

- 10 Durch die Überlagerung der einzelnen Phasenkonstanten bzw. -geschwindigkeiten von Gleichtakt- und Gegentaktwelle in den einzelnen Koppelsegmenten entsteht in den einzelnen Koppelsegmenten eine resultierende Phasenkonstante bzw. -geschwindigkeit von Gleichtakt- und Gegentaktwelle. Diese resultierenden Phasenkonstanten bzw. -geschwindigkeiten von Gleichtakt- und Gegentaktwelle können unabhängig voneinander eingestellt werden, da über die Festlegung der Spaltgeometrie zwischen Innen- und Masseleiter und der Spaltgeometrie zwischen den Innenleitern in allen Koppelsegmenten mehrfache Rechenfreiheitsgrade zur weitestgehend entkoppelten Bestimmungen dieser Größen über den gesamten Verlauf von Innen- und Masseleitern vorhanden sind.
- 25 Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

30 Fig. 1 ein Diagramm zur grafischen Darstellung des Zusammenhangs zwischen Richtdämpfung a_D und Phasengeschwindigkeiten $v^{(e)}$ und $v^{(o)}$ der Gleichtakt- und Gegentaktwelle bei unterschiedlichen Koppeldämpfungen a_K ;

35 Fig. 2 ein prinzipielles schematisches Blockschaltbild eines Richtkopplers;

Fig. 3 eine Topologie einer Richtkopplereinheit eines erfindungsgemäßen Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik, als Ausschnitt III von Fig. 4;

Fig. 4 eine Topologie des erfindungsgemäßen Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik, in der Gesamtdarstellung;

Fig. 5 ein vergrößerter Topologieausschnitt des erfindungsgemäßen Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik im Bereich V von Fig. 4;

Fig. 6 ein vergrößerter Topologieausschnitt des erfindungsgemäßen Richtkopplers in koplanarer Wellenleitertechnik im Bereich VI von Fig. 4 und

Fig. 7 eine Querschnittsdarstellung eines koplanaren Richtkopplers in koplanaren Wellenleitertechnik mit den Feldlinienverläufen für Gleichtakt- und Gegentaktwelle.

Der erfindungsgemäße Richtkoppler in koplanaren Wellenleitertechnik wird nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 3 bis Fig. 7 beschrieben.

In Fig. 3 ist eine Richtkopplereinheit 100 eines erfindungsgemäßen Richtkopplers 1 in koplanarer Wellenleitertechnik dargestellt. Die Richtkopplereinheit 100 ist auf einem Substrat 101 aus beispielsweise einer Aluminiumoxid-Keramik realisiert. Die Richtkopplereinheit 100 weist auf dem Substrat 101 eine Koppelstrecke 102 mit einem ersten Anschluss 103 zum Ein- und Ausspeisen einer elektromagnetischen Welle, einem zweiten Anschluss 104 zum

Ein- und Ausspeisen einer elektromagnetischen Welle, einem Auskopplungsanschluss 106 zum Auskoppeln einer elektromagnetischen Welle und einem Abschluss 105 auf.

5 Der erste Anschluss 103 ist mit dem zweiten Anschluss 104 über einen ersten Innenleiter 107 verbunden. Der Auskopplungsanschluss 105 ist mit dem Abschluss 106 über einen zweiten Innenleiter 108 verbunden, der entlang der Koppelstrecke 102 im wesentlichen parallel zu dem ersten
10 Innenleiter 107 verläuft. Zwischen dem ersten Innenleiter 107 und dem zweiten Innenleiter 108 befindet sich ein Spalt 109. Dieser Spalt 109 vergrößert sich exponentiell vom ersten Anschluss 103 bzw. Auskopplungsanschluss 106 in Richtung des zweiten Anschlusses 104 bzw. Abschlusses 105.

15

Für die Optimierung der Koppelstrecke 102 kann die Koppelstrecke in 40 gleich lange Koppelabschnitte zerlegt werden. Somit werden auch die Innenleiter 107 und 108, die dazugehörigen Masseleiter 110 und 112, der zwischen ersten
20 Innenleiter 107 und dem angrenzenden breitflächigen Masseleiter 110 befindliche Spalt 111, der zwischen zweiten Innenleiter 108 und dem dazugehörigen breitflächigen Masseleiter 112 befindliche Spalt 113 und der zwischen erstem und zweitem Innenleiter 107 und 108
25 befindliche Spalt 109 in 40 gleich lange Teilabschnitte zerlegt, die nachfolgend Koppelabschnitte genannt werden.

Mit einer Optimierung als erster Designschritt werden die Breiten g_i der Spalte 111 und 113, die Breiten w_i der
30 Innenleiter 107 und 108 sowie die Breiten der Spalte s_i zwischen den beiden Innenleitern 107 und 108 in den einzelnen Koppelabschnitten i berechnet. Hierbei gelten für g_i die in Formel (1) festgelegten Randbedingungen.

$$35 \quad g_{\min} \leq g_i \leq g_{\max} \quad (1)$$

Hierbei wird der untere Grenzwert g_{\min} durch die mittels Dünnschichttechnologie realisierbaren Strukturbreiten festgelegt.

Der obere Grenzwert g_{\max} ist ein geometrisch sinnvoll gewählter Wert.

- 5 Die Verläufe der Spaltbreiten g_i der Spalte 111 und 113 werden hier zunächst mittels simulationsgestützter Optimierung durch Treppenfunktionen angenähert. In einem weiteren Designschnitt können die "Treppemittelpunkte" dieser Treppenfunktion linear interpoliert werden, so dass
10 ein "Zickzack"-förmiger Verlauf der Spalte 111 und 113 in Längsrichtung der Innenleiter 107 und 108 entsteht.

- Des weiteren werden die beiden Innenleiter 107 und 108 bezüglich ihrer Leiterbahnbreite vorzugsweise linear
15 getapert. Sie weisen folglich von den Anschlüssen 103 bzw. 106 in Richtung der Anschlüsse 104 bzw. 105 einen linearen Anstieg ihrer Leiterbahnbreite auf. Im Rahmen des Simulationsmodells für die Optimierung der Koppelstrecke 102 mit insgesamt 40 Koppelabschnitten kann für die
20 Berechnung der Leiterbahnbreite w_i im Koppelabschnitt i die Optimierungsformel (2) herangezogen werden, wobei w_0 und w_1 in gewissen Grenzen (z.B. Strukturgenauigkeit) frei wählbare Konstanten sind.

25
$$w_i = w_0 + 0,004 \cdot (i - 1) \cdot w_1 \quad (2)$$

- Auch bei der Berechnung des Verlaufs der Leiterbahnbreite der Innenleiter 107 und 108 können aufbauend auf der durch die Optimierungsformel (2) ermittelten Treppenfunktion für
30 die Leiterbahnbreite w_i in einem weiteren Designschnitt die "Treppemittelpunkte" dieser Treppenfunktion linear interpoliert werden.

- Ferner wird schließlich die Breite s_i des Spaltes 109 im
35 Koppelabschnitt i durch die Formel (3) ermittelt, wobei s_0 und s_k in gewissen Grenzen frei wählbare und optimierbare Konstanten sind.

$$S_i = S_0 + \sum_{k=2}^{2n} S_k \cdot i^k \quad (3)$$

Das Ergebnis dieser Optimierungsrechnung ist ein treppenförmiger, näherungsweise exponentieller Verlauf der Spaltbreite von den Anschlüssen 103 bzw. 106 zu den Anschlüssen 104 bzw. 105.

Der erste Anschluss 103 ist mit einem am Rande Richtkopplereinheit 100 vorgesehenen ersten externen Anschluss 114 über einen Taper 115 verbunden. Analog ist der Auskopplungsanschluss 106 mit einem zweiten externen Anschluss 116 über einen Taper 117 verbunden. An die ersten und zweiten externen Anschlüsse 114 und 116 können Koaxialleitungen über entsprechend vorgesehene Steckerverbindungen die in Fig. 3 nicht eingezeichnet sind, angeschlossen werden.

Der Taper 115 besteht aus einem Innenleiter 118, der auf dem Substrat 101 aufgebracht ist und über Spalte 119 beidseitig von breitflächigen Masseleitern 110 und 120 getrennt ist. Die Breite des Innenleiters 108 ist im Bereich des ersten externen Anschlusses 114 konstant und verjüngt sich im Bereich des ersten Anschlusses 103 bis zur Breite des Innenleiters 107 im ersten Koppelabschnitt. Auf diese Weise wird der Feldverlauf der Koaxialleitung unter Beibehaltung des Wellenwiderstandes von üblicherweise 50 Ohm an den Feldverlauf des koplanaren Wellenleitersystems auf dem Substrat 101 kontinuierlich angepaßt.

30

Der Taper 117 besteht analog zum Taper 115 aus einem Innenleiter 121, der auf dem Substrat 101 aufgebracht ist und über Spalte 122 beidseitig von breitflächigen Masseleitern 112 und 120 getrennt ist. Die Breite des Innenleiters 121 ist im Bereich des zweiten externen Anschlusses 116 konstant und verjüngt sich im Bereich des Auskopplungsanschlusses 106 bis zur Breite des Innenleiters 108 im ersten Koppelabschnitt.

35

Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind, wie in Fig. 4 dargestellt, zwei Richtkopplereinheiten 100 und 200 vorhanden. Dies ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung
5 jedoch nicht zwingend.

Der zweite Anschluss 104 ist mit dem zweiten Anschluss 204 einer zweiten Richtkopplereinheit 200 verbunden, die auf demselben Substrat 101 des Richtkopplers 1 aufgebracht
10 ist. Diese Verbindung erfolgt über einen Innenleiter 123, der über den vollen Verbindungsverlauf die gleiche Breite wie der mit ihm verbundene Innenleiter 107 im abschließenden Koppelabschnitt aufweist. Der Innenleiter 123 ist über Spalte 124, die über den vollen Verbindungsverlauf
15 eine gleiche Breite besitzen, von den angrenzenden Masseleitern 110 und 112 abgegrenzt.

Der Abschluss 105 ist über einen Innenleiter 125, dessen Leiterbahnbreite sich vergrößert und der über benachbarte
20 Spalte 126, die den Innenleiter 125 zum beidseitig angrenzenden Masseleiter 112 abgrenzen, mit einem im Ausführungsbeispiel trapezförmigen Absorber 127 verbunden. Dieser trapezförmige Absorber 127 besteht z. B. aus Nickelchrom und bildet einen trimmbaren Präzisions-
25 Widerstandsabschluss. Damit ist ein nahezu vollkommen reflexionfreier Abschluss des Abschlusses 105 gewährleistet. Der Präzisions-Widerstand des Absorbers 127 ist aufgrund seiner Trapez-Form symmetrisch zum Innenleiter 125 und dem beidseitigen Masseleiter 112.
30 Durch symmetrisches Abtragen des Absorbers 127 z. B. mittels eines Lasers kann der Abschlusswiderstand hoch präzise auf 50 Ohm zwischen dem Innenleiter 125 und dem beidseitigen Masseleiter 112 getrimmt werden.

35 In Fig. 4 ist die Topologie des gesamten Richtkopplers 1 in koplanarer Wellenleitertechnik dargestellt. Sie besteht aus der in Fig. 3 dargestellten Richtkopplereinheit 100 und der weiteren Richtkopplereinheit 200. Die Richtkopplereinheit 200 weist die gleiche Struktur mit den

gleichen Bestandteilen auf wie die Richtkopplereinheit 100. Ihre topologische Ausrichtung auf dem Substrat 101 ist jedoch spiegelbildlich zur topologischen Ausrichtung der Richtkopplereinheit 100. Die Bezugszeichen der Bestandteile der Richtkopplereinheit 200 werden deshalb aus den Bezugszeichen der korrespondierenden Bestandteile der Richtkopplereinheit 100 abgeleitet, indem in der führenden Ziffer des Bezugszeichens die 1 durch eine 2 ersetzt wird.

10

Der erste externe Anschluss 114 der Richtkopplereinheit 100 entsprechend Fig. 3 wird im Richtkoppler 1 in Fig. 4 auf dem Substrat 101 über einen Kondensator 130, der ebenfalls auf dem Substrat 101 aufgebracht ist, mit dem ersten Außenanschluss 131 des Richtkopplers 1 verbunden. Der erste Außenanschluss 131 dient zum Ein- und Ausspeisen einer elektromagnetischen Welle. Der Kondensator 103 hat die Aufgabe der galvanischen Gleichstromentkopplung des ersten Außenanschlusses 131. Eine Einspeisung einer Gleichstromkomponente als Überlagerung zur Mikrowellenkomponente der im ersten Außenanschluss 131 eingespeisten elektromagnetischen Welle kann über die Induktivität 132' erfolgen.

25

Der zweite externe Anschluss 116 der Richtkopplereinheit 100 entsprechend Fig. 3 wird im Richtkoppler 1 in Fig. 4 auf dem Substrat 101 mit einem zweiten Außenanschluss 132 verbunden. Der zweite Außenanschluss 132 dient zum Auskoppeln eines Bruchteils der in die Richtkopplereinheit 100 am externen Anschluss 131 eingespeisten elektromagnetischen Welle.

30

Der erste externe Anschluss 214 der Richtkopplereinheit 200 in Fig. 3 wird im Richtkoppler 1 in Fig. 4 auf dem Substrat 101 mit einem vierten Außenanschluss 231 verbunden. Der vierte Außenanschluss 231 dient zum Ein- und Ausspeisen einer elektromagnetischen Welle.

35

Analog wird der zweite externe Anschluss 216 der Richtkopplereinheit 200 des Richtkopplers 1 auf dem Substrat 101 mit einem dritten Außenanschluss 232 verbunden. Der dritte Außenanschluss 232 dient zum
 5 Auskoppeln eines Bruchteils der in die Richtkopplereinheit 200 am externen Anschluss 231 eingespeisten elektromagnetischen Welle.

Wird der Richtkoppler 1 zwischen ein Messobjekt (DUT) und
 10 einen Netzwerkanalysator geschaltet, so erfolgt im ersten Außenanschluss 131 die Einspeisung der hochfrequenten elektromagnetischen Welle zur Anregung des vom Netzwerkanalysator zu vermessenden Messobjekts z. B. im Hinblick auf die Bestimmung der S-Parameter des
 15 Messobjekts. Am dritten Außenanschluss 231, der mit dem Messobjekt verbunden ist, erfolgt die Ausspeisung der im ersten Außenanschluss 131 eingespeisten und über die beiden Richtkopplereinheiten 100 und 200 zum dritten Außenanschluss 231 direkt übertragenen hochfrequenten
 20 elektromagnetischen Welle. Gleichzeitig wird im dritten Außenanschluss 231 die vom Messobjekt reflektierte elektromagnetische Welle eingespeist. Im zweiten Außenanschluss 132 erfolgt die Auskopplung der im ersten Außenanschluss 131 eingespeisten und in der ersten
 25 Richtkopplereinheit 100 an den Auskopplungsanschluss 106 ausgekoppelten elektromagnetischen Welle. Im vierten Außenanschluss 232 erfolgt die Auskopplung der vom Messobjekt in den Richtkoppler 1 reflektierten und in der zweiten Richtkopplereinheit 200 am Auskopplungsanschluss
 30 206 ausgekoppelten elektromagnetischen Welle. Hat das Messobjekt mehrere Messtore, so ist an jedem Messtor ein erfindungsgemäßer Richtkoppler 1 vorzusehen.

In Fig. 5 ist in einem gegenüber Fig. 4 vergrößerten
 35 Maßstab ein gegenüber Fig. 4 leicht modifizierter Ausschnitt der Richtkopplereinheit 200 mit dem zweiten Anschluss 204, der über den Innenleiter 124 mit den benachbarten Spalten 123 mit dem zweiten Anschluss 104 der ersten Richtkopplereinheit 100 verbunden ist, und dem

isolierenden Abschluss 205, der mit den Innenleiter 225 mit den benachbarten Spalten 296 mit dem Absorber 227 verbunden ist, im Bereich V in Fig. 4 dargestellt. Zu erkennen ist der in Richtung des zweiten Anschlusses 204 beziehungsweise des Abschlusses 205 sich exponentiell erweiternde Spalt 209 mit der Spaltbreite s_i zwischen den beiden Innenleitern 207 und 208. Ebenfalls ist die sich in Richtung des zweiten Anschlusses 204 bzw. des Abschlusses 205 erweiternde Leiterbahnbreite w_i der beiden Innenleiter 207 bzw. 208 ersichtlich. Schließlich ist im Topologieausschnitt der Fig. 5 der "Zickzack"-förmige Verlauf des Spaltes 211 mit der Spaltbreite g_i zwischen dem Innenleiter 207 und dem breitflächigen Masseleiter 110 und des Spaltes 213 zwischen dem Innenleiter 208 und dem breitflächigen Masseleiter 112 für den i -ten Koppelabschnitt dargestellt.

Zur Vermeidung unsymmetrischer Feldverläufe zwischen den beiden aus jeweils einem Innen- und Masseleiter bestehenden Leitungspaar eines koplanaren Leitungssystems werden die beiden Masseleiter über metallische Verbindungen auf gleiches elektrisches Potential gebracht.

Hierzu werden, wie in Fig. 6 als vergrößerte Darstellung des Bereichs VI in Fig. 4 für die Richtkopplereinheit 200 dargestellt, im Bereich enger Abstände zwischen den einzelnen Masseleitern sogenannte "Luftbrücken" 235 verwendet. Diese "Luftbrücken" 235 bestehen aus den Metallschichten 236, die den Bereich zwischen den Innenleitern 207, 208, 218 und 221 und den Spalten 211, 213, 219 und 222 unter Zwischenschaltung einer dünnen Luftschicht isolierend überspannen. Auf Grund der geringen Leitungslänge der Metallschichten 236 ist deren Induktivitätsbelag vergleichsweise gering, so dass das Hochfrequenzverhalten des koplanaren Wellenleiters damit nicht verschlechtert ist. Die Metallschichten 236 sind über Pfosten 237, die in enger Nachbarschaft zu dem isolierenden Spalten 211, 213, 219 und 222 positioniert

sind, mit dem breitflächigen Masseleiter 110, 112 und 220 verbunden.

Im Bereich größerer Abstände zwischen den einzelnen
5 Masseleitern werden an Stelle der "Luftbrücken" Bonddrähte
140 (für Richtkopplereinheit 100) und 240 (für Richt-
kopplereinheit 200) verwendet, da diese bei größeren
Leitungslängen gegenüber den "Luftbrücken" 135 (für
10 Richtkopplereinheit 100) und 235 (für Richtkopplereinheit
200) einen deutlich geringeren Kapazitätsbelag aufweisen.

Die Funktionsweise der Koppelstrecke 102 der
Richtkopplereinheit 100 bzw. der Koppelstrecke 202 der
Richtkopplereinheit 200 wird unter Zuhilfenahme der
15 Querschnittsdarstellung eines koplanaren Wellenleiter-
systems in Fig. 7 im Folgenden erklärt (die Bezugszeichen
der einzelnen Leiter beziehen sich auf die Richtkoppler-
einheit 100):

20 Wird die Koppelstrecke 102 der Richtkopplereinheit 100 am
ersten Anschluss 103 mit einer elektromagnetischen Welle
einer bestimmten Frequenz und Amplitude angeregt, so kommt
es in den einzelnen Koppelabschnitten zu Koppelvorgängen
zwischen dem Innenleiter 109 und dem Innenleiter 108 des
25 koplanaren Leitungssystems. In Fig. 7 sind die zur
elektromagnetischen Welle gehörigen elektrischen
Feldlinien durch geschlossene Linien sowie die
magnetischen Feldlinien durch gestrichelte Linien
dargestellt. Das Ausmaß des Koppelvorgangs in den
30 einzelnen Koppelabschnitten wird durch den dortigen
Koppelfaktor bestimmt, der wiederum größtenteils durch den
Abstand zwischen den beiden Innenleitern 107 und 108
festgelegt ist.

35 Die Überlagerung der in den einzelnen Koppelabschnitten i
auf den beiden Leitungspaaren direkt geführten und
überkoppelten elektromagnetischen Wellen, die auf Grund
des unterschiedlich großen Spaltabstandes s_i zwischen den
beiden Innenleitern 107 und 108 unterschiedlich stark

ausgeprägt ist, führt in jedem Koppelabschnitt i zu zwei sich überlagernden elektromagnetischen Eigenwellen (Moden), nämlich einer Gleichtaktwelle (even-mode) und einer Gegentaktwelle (odd-mode). Während die Gleichtaktwelle (even-mode) durch gleiches elektrisches Potential der beiden Innenleiter 107 und 108 gekennzeichnet ist, weist die Gegentaktwelle (odd-mode) entgegengesetztes elektrisches Potential auf.

- 10 Durch Festlegung der Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern 107 und 108 sowie zwischen Innenleiter 107 und Masseleiter 110 bzw. zwischen Innenleiter 108 und Masseleiter 112 wird die Querschnittsaufteilung Dielektrikum/Luft und damit die effektive
- 15 Permittivitätszahl $\epsilon_{(e)eff}$ und $\epsilon_{(o)eff}$ der beiden Moden bestimmt, womit die Phasengeschwindigkeiten $v^{(e)}$ und $v^{(o)}$ der Gleichtaktwelle und der Gegentaktwelle determiniert sind. Charakteristisch für einen Richtkoppler in Koplanartechnik mit einer Geometriestruktur, die obig
- 20 beschrieben ist, ist die Einstellung der Phasengeschwindigkeit $v^{(e)}$ der Gleichtaktwelle durch die Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern weitgehend unabhängig von der Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern und ihren benachbarten Masseflächen sowie die
- 25 Einstellung der Phasengeschwindigkeit $v^{(o)}$ der Gegentaktwelle durch die Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern und ihren benachbarten Masseflächen unabhängig von der Spaltgeometrie zwischen den beiden Innenleitern. Auf eine genauere Erklärung dieses Sachver-
- 30 haltes, der numerisch mit Hilfe des Simulationsmodelles ermittelt wurde, wird im Rahmen dieser Ausführung verzichtet.

- Die Spaltgeometrien zwischen den beiden Innenleitern sowie
- 35 zwischen den beiden Innenleitern und ihren benachbarten Masseflächen können mit Hilfe eines Simulationsmodelles derart dimensioniert werden, dass sich am reflexionsfreien Abschluss 105 Gleichtaktwelle und Gegentaktwelle gegenseitig vollständig kompensieren, während sich am

Auskopplungsanschluss 106 Gleichtaktwelle und Gegentaktwelle addieren. Damit ist die für einen Richtkoppler erforderliche hohe Richtdämpfung a_D ($a_D = -20 \cdot \lg(b_4/b_2)$, siehe dazu Fig. 2) realisiert. Die hohe
 5 Richtdämpfung verursacht eine niedrige Dämpfung der resultierenden, überkoppelten elektromagnetischen Welle im Koppelpfad, d. h. am Auskopplungsanschluss 106 und gleichzeitig eine hohe Dämpfung der resultierenden, überkoppelten elektromagnetischen Welle am Isolationspfad,
 10 d. h. am Abschluss 105.

Die für den Richtkoppler erforderliche Kopplungsdämpfung a_K ($a_K = -20 \cdot \lg(k)$, $k = |b_2/a_1|$, siehe dazu Fig. 2) im Bereich des ersten Anschlusses 103 bzw. des Auskopplungs-
 15 anschlusses 106 von beispielsweise 10 dB wird durch den Kopplungsfaktor k bestimmt, welcher wiederum vom Wellenwiderstand der Gleichtaktwelle Z_e und vom Wellenwiderstand der Gegentaktwelle Z_o und damit von der gesamten Querschnittsgeometrie im Bereich des ersten
 20 Anschlusses 103 bzw. des Auskopplungsanschlusses 106 abhängt.

Mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen läßt sich ein ultraleichter Richtkoppler realisieren. Versuche der
 25 Anmelderin haben ergeben, dass sich ein Verhältnis von maximaler Übertragungsfrequenz f_{\max} zu minimaler Übertragungsfrequenz f_{\min} von $f_{\max}/f_{\min} = 12$ erreichen läßt.

30 Die Erfindung ist nicht auf das dargestellte Ausführungsbeispiel beschränkt. Sämtliche beschriebenen Merkmale können beliebig miteinander kombiniert werden.

Ansprüche

- 5 1. Richtkoppler (1) in koplanarer Wellenleitertechnik
aus zumindest einer ersten Richtkopplereinheit (100) mit
einem ersten Anschluss (103) zum Einspeisen oder
Ausspeisen einer Welle, einem zweiten Anschluss (104) zum
Einspeisen oder Ausspeisen einer vom oder zum ersten
10 Anschluss (103) direkt zugeführten Welle, einem
Auskoppelanschluss (106) zum Auskoppeln einer gekoppelten
Welle, einem Abschluss (105), einem den ersten Anschluss
(103) und den zweiten Anschluss (104) verbindenden ersten
Innenleiter (107), einem den Auskoppelanschluss (106) und
15 den Abschluss (105) verbindenden zweiten Innenleiter (108)
und jeweils die Innenleiter (107, 108) außenseitig
berandende Masseleiter (110, 112),
dadurch gekennzeichnet,
dass der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (107,
20 108) sich an einer Koppelstrecke (102) entlang der
Längserstreckung der Innenleiter (107, 108) ändert.
2. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach
Anspruch 1,
25 **dadurch gekennzeichnet,**
dass der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (107,
108) in Richtung vom ersten Anschluss (103) bzw. vom
Auskoppelanschluss (106) zum zweiten Anschluss (104) bzw.
zum Abschluss (105) sich exponentiell vergrößert.
- 30 3. Richtkoppler (1) in koplanarer Wellenleitertechnik
aus zumindest einer ersten Richtkopplereinheit (100) mit
einem ersten Anschluss (103) zum Einspeisen oder
Ausspeisen einer Welle, einem zweiten Anschluss (104) zum
35 Einspeisen oder Ausspeisen einer vom oder zum ersten
Anschluss (103) direkt zugeführten Welle, einem
Auskoppelanschluss (106) zum Auskoppeln einer gekoppelten
Welle, einem Abschluss (105), einem den ersten Anschluss
(103) und den zweiten Anschluss (104) verbindenden ersten

Innenleiter (107), einem den Auskoppelanschluss (106) und den Abschluss (105) verbindenden zweiten Innenleiter (108) und jeweils die Innenleiter (107, 108) außenseitig berandende Masseleiter (110, 112),

5 **dadurch gekennzeichnet,**

dass der Abstand zwischen jeweils einem Innenleiter (107; 108) und einem angrenzenden Masseleiter (110; 112) sich an einer Koppelstrecke (102) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (107; 108) ändert.

10

4. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

15 dass der Abstand zwischen jeweils einem Innenleiter (107; 108) und einem angrenzenden Masseleiter (110; 112) sich zwischen zwei benachbarten, ursprünglich konstant breiten Koppelabschnitten linear vergrößert oder verkleinert.

20 5. Richtkoppler nach koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,

25 dass der Abstand zwischen jeweils einem Innenleiter (107; 108) und einem angrenzenden Masseleiter (110; 112) oberhalb eines vorgegebenen unteren Grenzwertes g_{MIN} und unterhalb eines vorgegebenen oberen Grenzwertes g_{MAX} liegt.

6. Richtkoppler nach einem der Ansprüche 3 bis 5,

dadurch gekennzeichnet,

30 dass der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (107, 108) sich an der Koppelstrecke (102) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (107, 108) ändert.

35 7. Richtkoppler (1) in koplanarer Wellenleitertechnik aus zumindest einer ersten Richtkopplereinheit (100) mit einem ersten Anschluss (103) zum Einspeisen oder Ausspeisen einer Welle, einem zweiten Anschluss (104) zum Einspeisen oder Ausspeisen einer vom oder zum ersten Anschluss (103) direkt zugeführten Welle, einem

Auskoppelanschluss (106) zum Auskoppeln einer gekoppelten Welle, einem Abschluss (105), einem den ersten Anschluss (103) und den zweiten Anschluss (104) verbindenden ersten Innenleiter (107), einem den Auskoppelanschluss (106) und den Abschluss (105) verbindenden zweiten Innenleiter (108) und jeweils die Innenleiter (107, 108) außenseitig berandende Masseleiter (110, 112),
dadurch gekennzeichnet,
dass die Leiterbahnbreite der beiden Innenleitern (107, 108) sich an einer Koppelstrecke (102) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (107, 108) ändert.

8. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich die Leiterbahnbreite der Innenleiter (107, 108) in Richtung vom ersten Anschluss (103) bzw. vom Auskoppelanschluss (106) zum zweiten Anschluss (104) bzw. Abschluss (105) kontinuierlich vergrößert.

9. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach Anspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (107; 108) sich an der Koppelstrecke (102) entlang der Längserstreckung der Innenleiter (107; 108) ändert.

10. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach einem der Ansprüche 7 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Abstand zwischen jeweils einem Innenleiter (107; 108) und einem angrenzenden Masseleiter (110; 112) sich an der Koppelstrecke (102) entlang der Längsachse der Innenleiter (107; 108) ändert.

11. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,

dass der Abschluss (105) mit einem trapezförmigen Absorber (127) abgeschlossen ist.

12. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach
5 einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass der zweite Anschluss (104) der ersten Richtkoppler-
einheit (100) über einen Innenleiter (123) mit zwei
begrenzenden Masseleitern (124) mit einem zweiten
10 Anschluss (205) einer zweiten Richtkopplereinheit (200)
verbunden ist.

13. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach
Anspruch 12,
15 **dadurch gekennzeichnet,**
dass die erste und zweite Richtkopplereinheit (100, 200)
auf einem gemeinsamen Substrat (101) bei spiegelbildlicher
Anordnung monolithisch integriert sind.

20 14. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach
einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Bereich des engsten Abstandes der Masseleiter
(110, 112, 120)) die Massenleiter (110, 112, 120) über
25 Luftbrücken (135) und/oder in Bereichen größeren Abstandes
zwischen den Masseleitern (110, 112, 120) die Masseleiter
(110, 112, 120) über Bonddrähte (140) verbunden sind.

15. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach
30 einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Luftbrücken (135) aus metallischen Schichten
(136) bestehen, die über eine dünne Luftschicht von den
Innenleitern (107, 108, 118, 121, 123, 125) isolierend
35 getrennt sind.

16. Richtkoppler in koplanarer Wellenleitertechnik nach
einem der Ansprüche 1 bis 15,
dadurch gekennzeichnet,

dass an Übergangsstellen zwischen coaxialen Zuleitungen und den Innenleitern (107, 108) Taper (115, 117) vorgesehen sind, die zur Minimierung von Dämpfung und Reflexion die Querschnittsgeometrie der coaxialen

5 Zuleitungen an die Querschnittsgeometrie der Innenleiter (107, 108) kontinuierlich anpassen.

Zusammenfassung

5

Der Richtkoppler (1) in koplanarer Wellenleitertechnik besteht aus zumindest einer ersten Richtkopplereinheit (100) mit einem ersten Anschluss (103) zum Ein- oder Ausspeisen einer Welle, einem zweiten Anschluss (104) zum
10 Ein- oder Ausspeisen einer vom oder zum ersten Anschluss (103) direkt zugeführten Welle, einem Auskoppelanschluss (106) zum Auskoppeln einer gekoppelten Welle und einem Abschluss (105). Der erste Anschluss (103) ist mit dem zweiten Anschluss (104) über einen ersten Innenleiter
15 (107) verbunden. Der Auskoppelanschluss (106) ist mit dem Abschluss (105) über einen zweiten Innenleiter (108) verbunden. Die Innenleiter (107, 108) sind außenseitig von Masseleitern (110, 112) berandet. Der Abstand zwischen den beiden Innenleitern (107, 108), der Abstand zwischen dem
20 Innenleiter (107) und seinem angrenzenden Masseleiter (110) bzw. zwischen dem Innenleiter (108) und seinem angrenzenden Masseleiter (112) und die Leiterbahnbreite der beiden Innenleiter (107, 108) ändert sich entlang der Längserstreckung der Innenleiter (107, 108).

25

(Fig. 3)

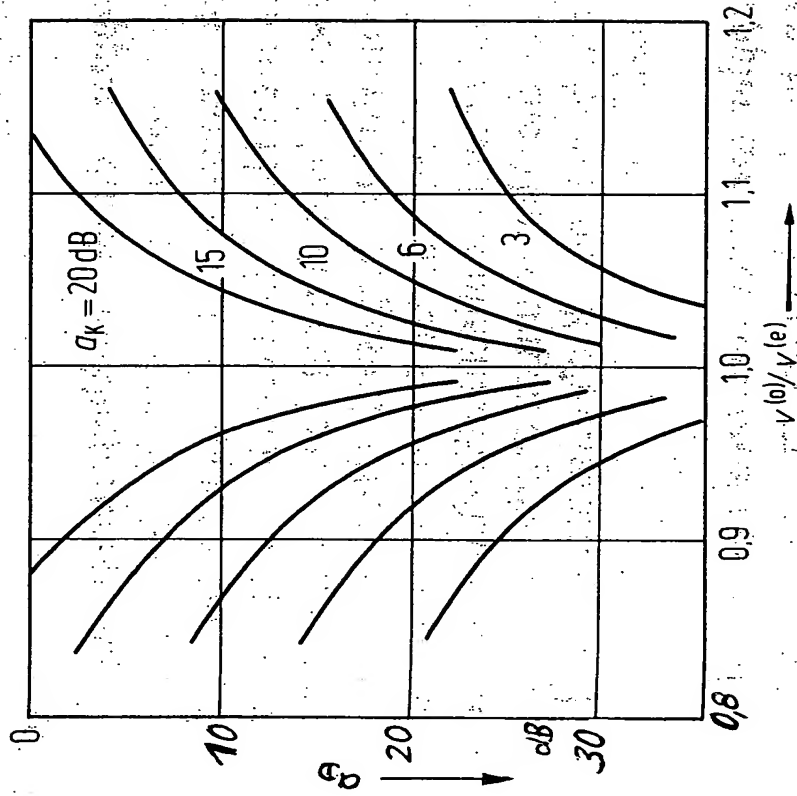


Fig. 7

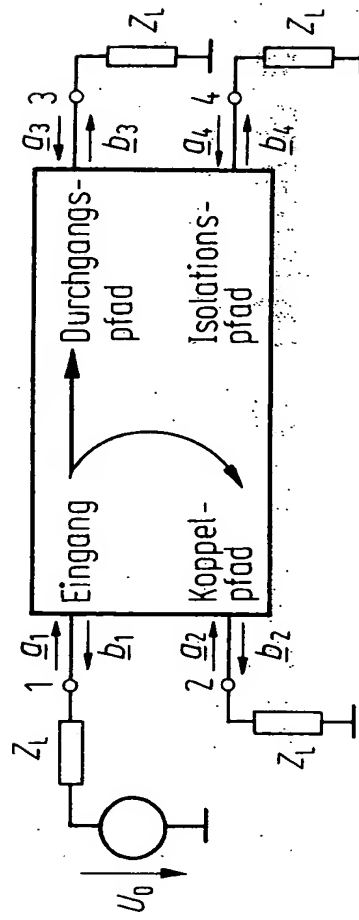
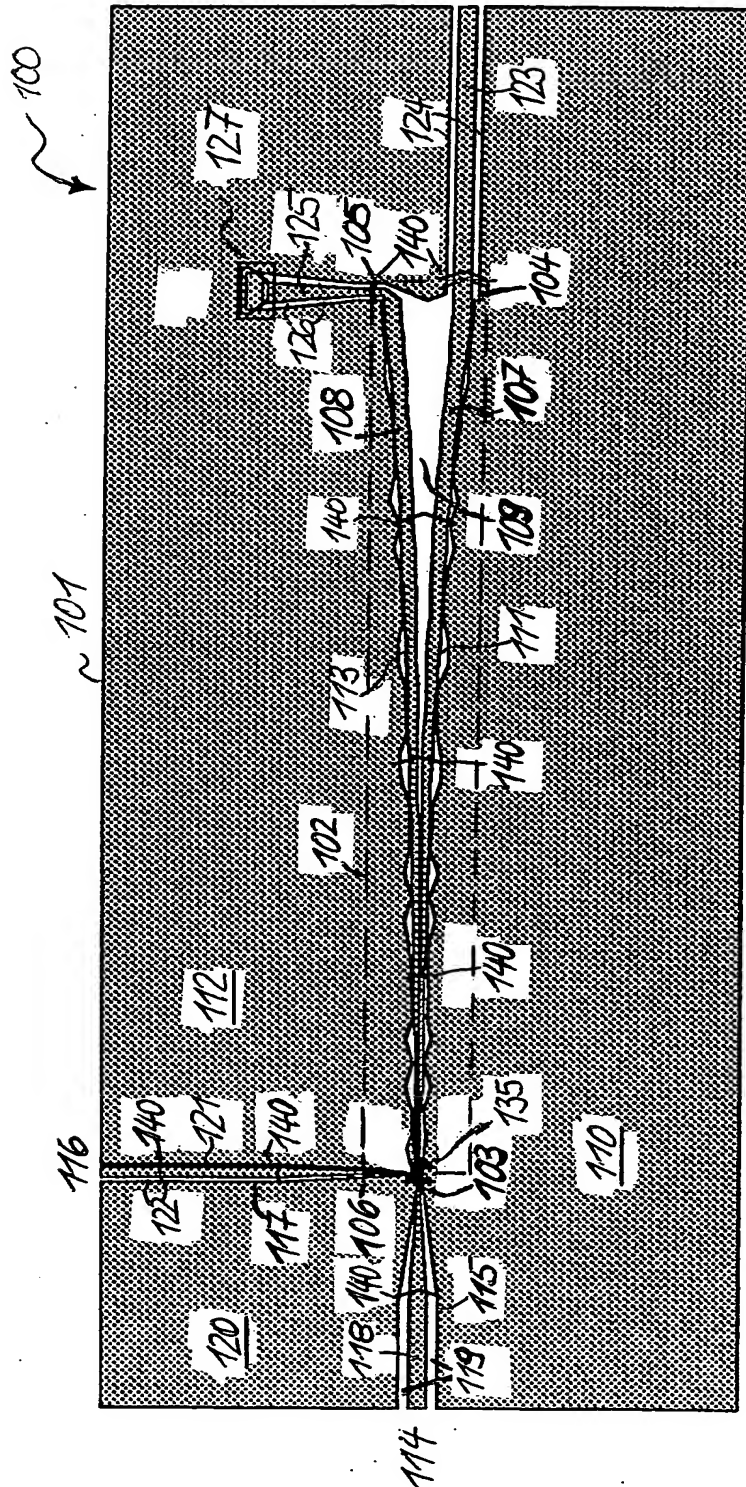


Fig. 2

BEST AVAILABLE COPY

Fig. 3

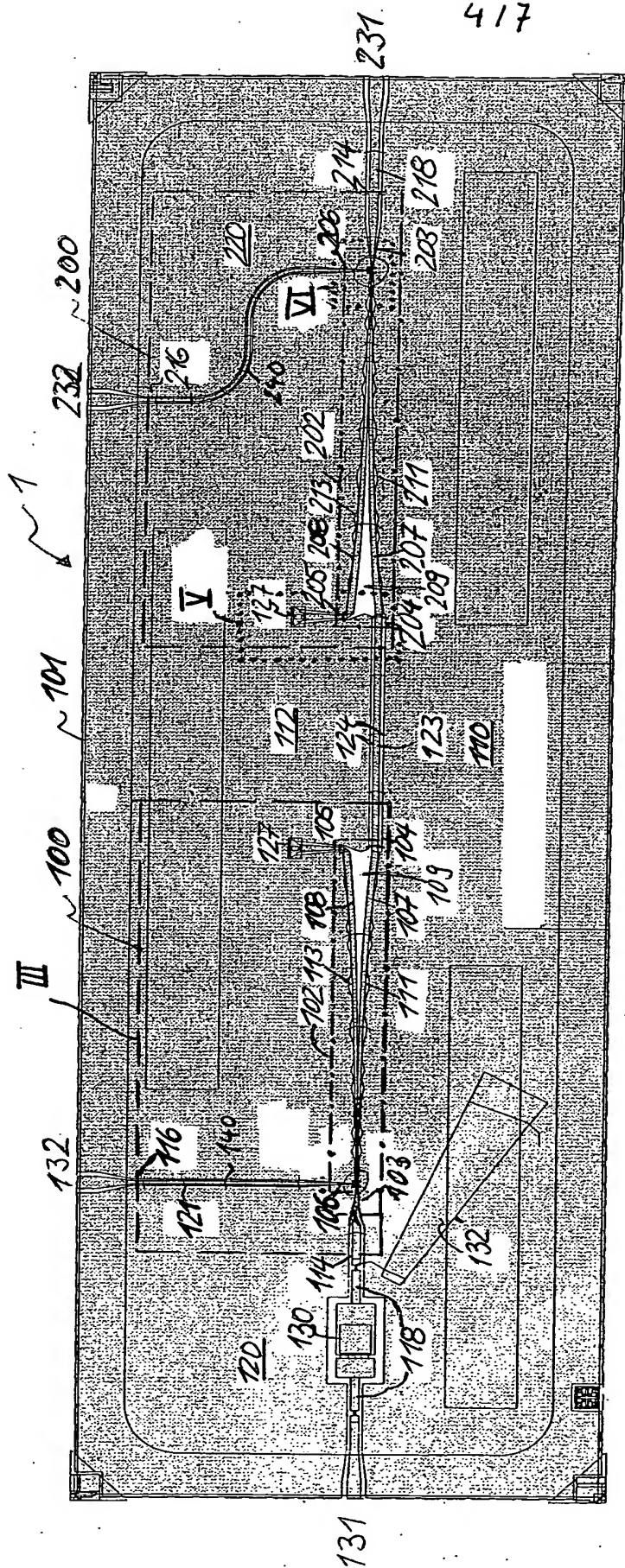
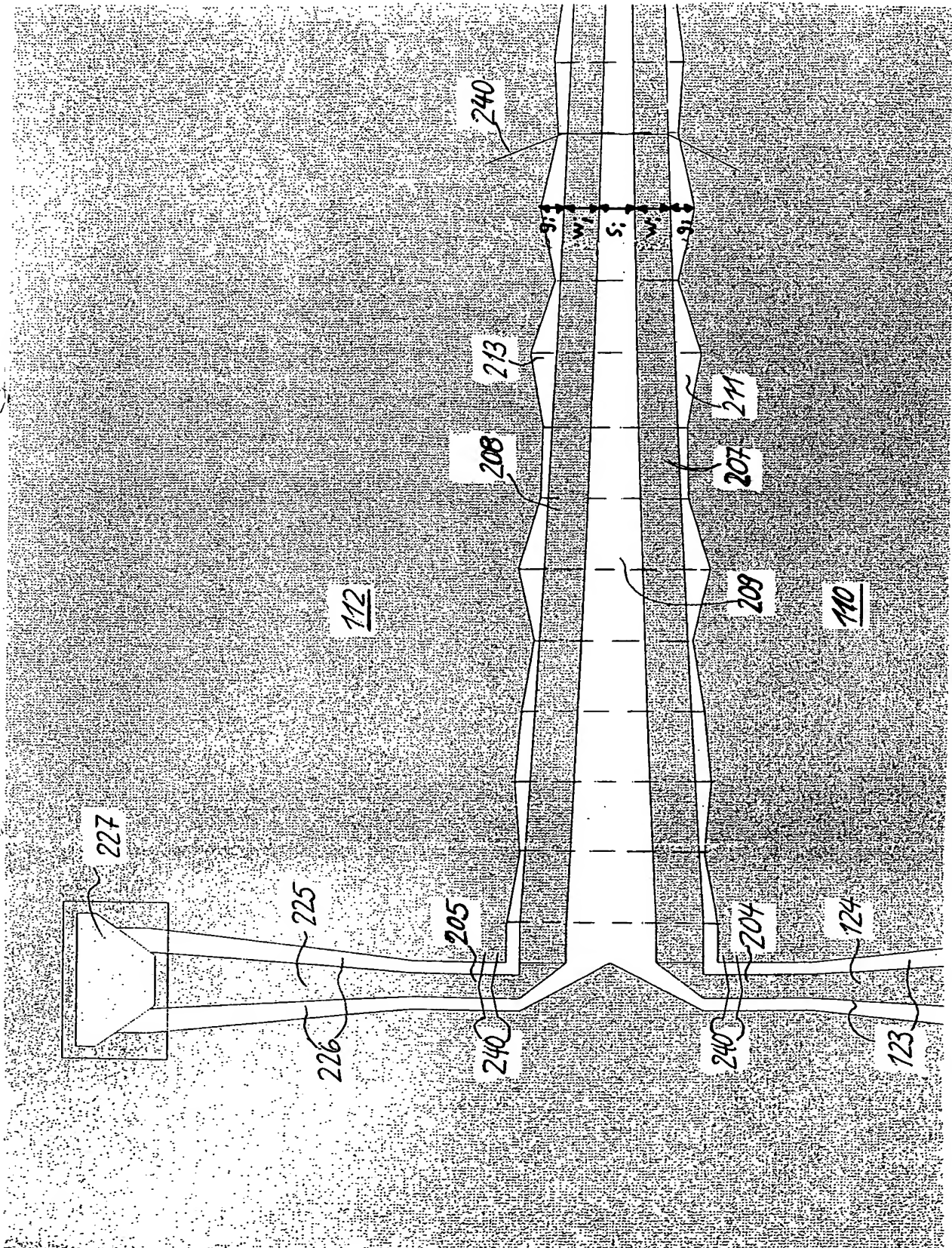


Fig. 4



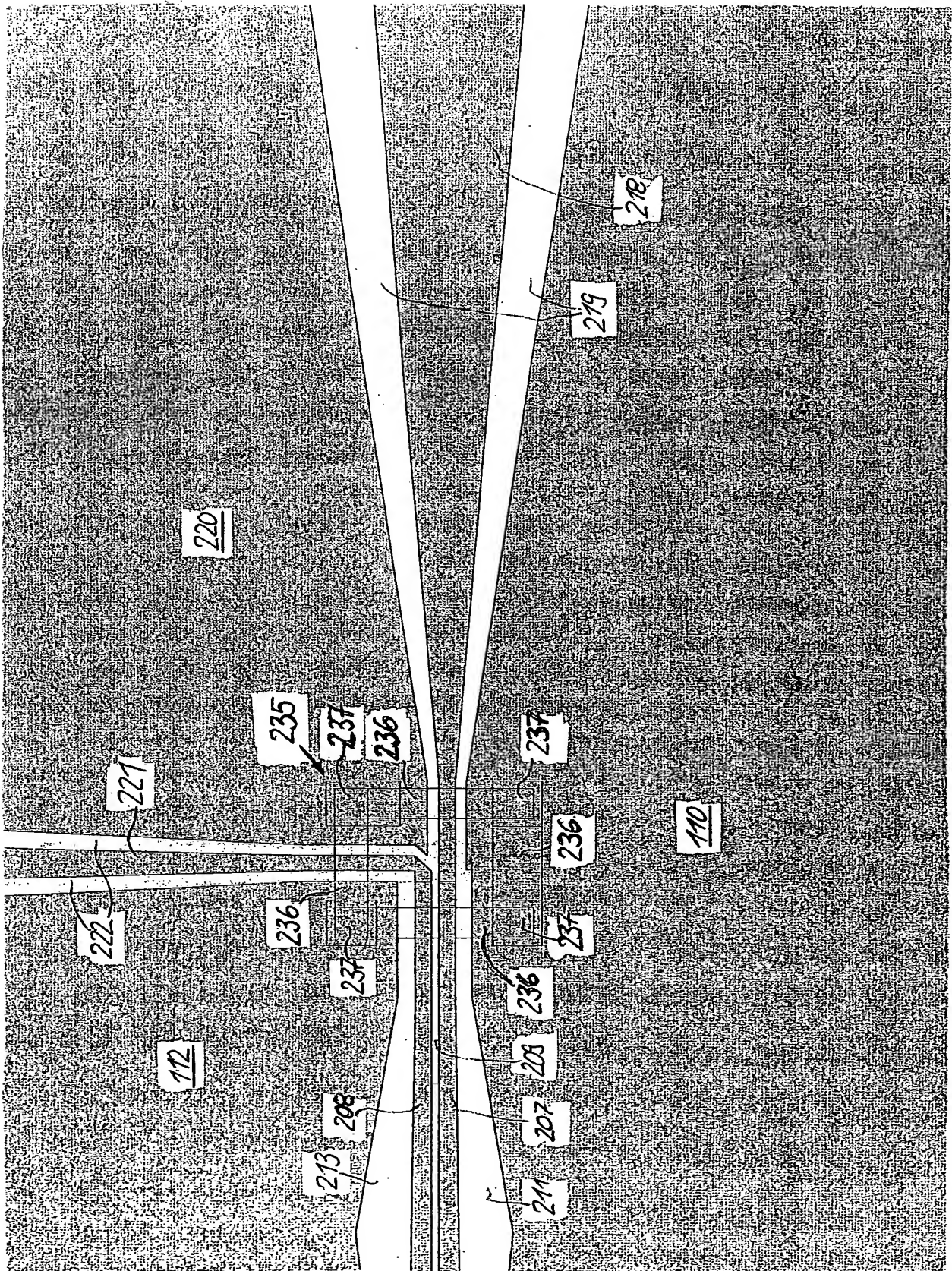
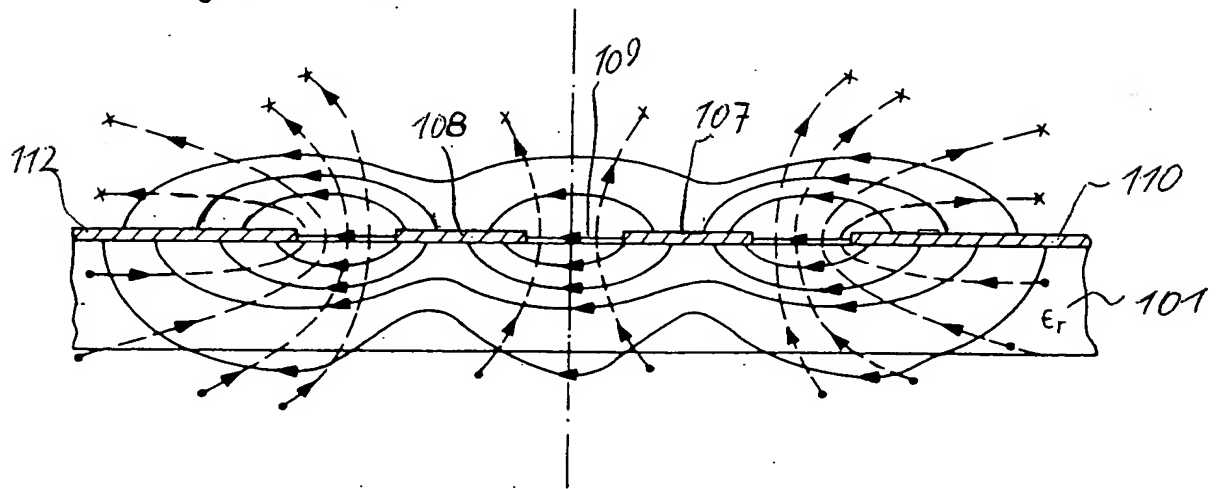
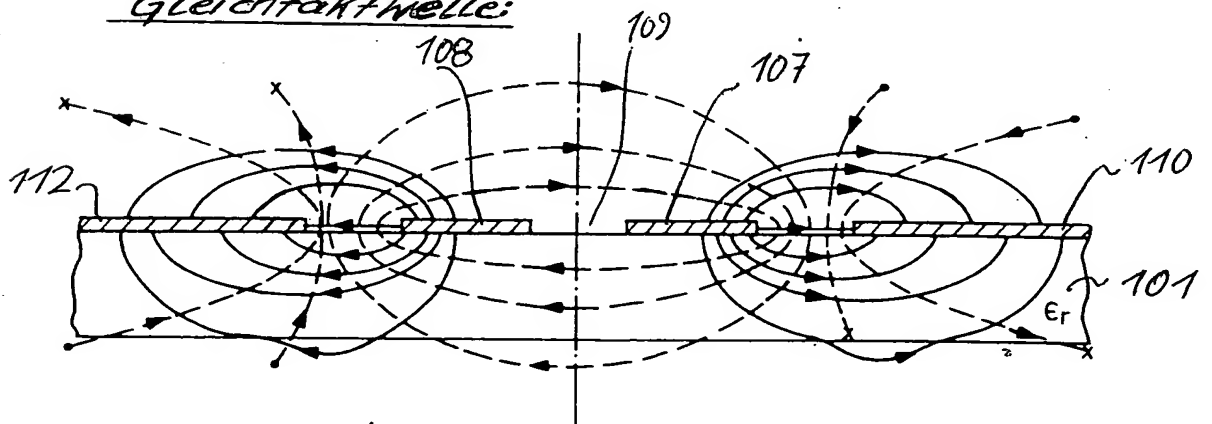


Fig. 6

BEST AVAILABLE COPY

Gegentaktwelle:Gleichtaktwelle:Fig. 7